

(19) **日本国特許庁(JP)**

(12) **公開特許公報(A)**

(11) 特許出願公開番号

特開2016-16123

(P2016-16123A)

(43) 公開日 平成28年2月1日(2016. 2. 1)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 3/135 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 3/12

G

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2014-140785 (P2014-140785)

(22) 出願日 平成26年7月8日 (2014.7.8)

(71) 出願人 000135184

株式会社ニデック

愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14

(72) 發明者 横須賀 泰輝

愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株
式会社ニデック拾石工場内

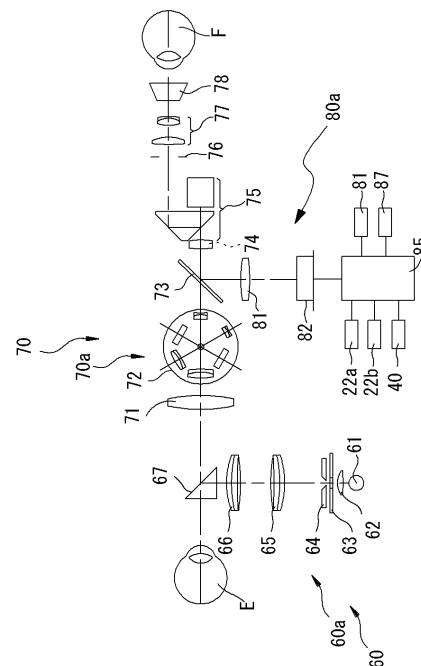
(54) 【発明の名称】 細隙灯顕微鏡

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 良好な観察性能と装置の小型化を両立しやすい光学構成を有する細隙灯顕微鏡を提供する。

【解決手段】スリットランプは、スリット状に整形された照明光を被検者眼Eに投光する照明光学系60aと、該照明光学系60aからの照明光によって照明される被検者眼Eを観察する観察光学系70aと、を備えている。また、照明光学系60aは、コリメートレンズ65および結像レンズ66として、3枚のレンズが接合されたトリプレットレンズを有している。照明光学系60aは、これらのトリプレットレンズを介して被検者眼の部位にて照明光を結像させる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スリット状に整形された照明光を被検者眼に投光する照明光学系と、
該照明光学系からの照明光によって照明される被検者眼を観察する観察光学系と、を備える細隙灯顕微鏡において、

前記照明光学系は、3枚のレンズが接合されたトリプレットレンズを有し、スリット状に整形された前記照明光を前記トリプレットレンズを介して被検者眼の部位にて結像させることを特徴とする細隙灯顕微鏡。

【請求項 2】

前記照明光学系は、前記照明光をコリメートするための第1トリプレットレンズと、前記第1トリプレットレンズを介してコリメートされた照明光を被検者眼の部位にて結像させるための第2トリプレットレンズと、を備えることを特徴とする細隙灯顕微鏡。

10

【請求項 3】

前記照明光学系は、スリット状に整形された前記照明光を前記第1トリプレットレンズおよび前記第2トリプレットレンズのみで集光することによって、前記被検者眼の部位に前記照明光を結像させることを特徴とする請求項2に記載の細隙灯顕微鏡。

【請求項 4】

前記第1トリプレットレンズおよび前記第2トリプレットレンズは、互いの光学特性が等しいことを特徴とする請求項2又は3に記載の細隙灯顕微鏡。

【請求項 5】

20

前記照明光学系は、前記スリットから前記第1トリプレットレンズまでの間隔、および前記第2トリプレットレンズから像面までの間隔が、いずれも95.00mm以下であることを特徴とする請求項4記載の細隙灯顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検者眼を観察又は撮影する細隙灯顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

眼科の診察では、被検者眼にスリット状に整形された照明光を投光し、照明された部位を観察又は撮影する細隙灯顕微鏡（スリットランプ）が使用されている。

30

【0003】

特許文献1には、スリット状の照明光をダブレットレンズを用いて被検者眼の観察部位に結像させる光学系が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】実公平4-18573号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

細隙灯顕微鏡では、スリット状の照明光の境界が鮮明であるほど、被検者眼が良好に観察される。しかし、レンズから像面までのワーキングディスタンスを確保しつつ、照明光を投光する光学系の全長を短くするためには、開口数の大きなレンズが必要となる。一方で、レンズの開口数が大きい場合ほど、収差補正が難しくなる。

【0006】

例えば、本件の発明者は、従来のダブレットレンズを用いた光学系を採用して装置の設計を試みたが、装置サイズに対する観察性能を一定の水準を超えて満足することは容易ではなかった。

【0007】

50

本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、良好な観察性能と装置の小型化を両立しやすい光学構成を有する細隙灯顕微鏡を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1態様に係る細隙灯顕微鏡は、スリット状に整形された照明光を被検者眼に投光する照明光学系と、該照明光学系からの照明光によって照明される被検者眼を観察する観察光学系と、を備える細隙灯顕微鏡において、前記照明光学系は、3枚のレンズが接合されたトリプレットレンズを有し、スリット状に整形された前記照明光を前記トリプレットレンズを介して被検者眼の部位にて結像させる。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、良好な観察性能と装置の小型化を両立しやすい。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】スリットランプの外観を示した図である。

【図2】スリットランプの光学系を示した図である。

【図3】コリメートレンズおよび結像レンズに使用されるトリプレットレンズを示した図である。

【図4】ダブレットレンズを説明する図である。

20

【図5】一実施例における照明光学系600、および比較例における照明光学系800についての、光線追跡を用いたシミュレーションによって求めた収差係数を示した表である。

【図6】(a)は、シミュレーションにおける照明光学系600の光学配置を示し、(b)は、シミュレーションにおける照明光学系800の光学配置を示す。

【図7】(a)は、図6(a)の像面における通過光線の座標分布を示すスポットダイアグラムであり、(b)は、図6(b)の像面における通過光線の座標分布を示すスポットダイアグラムである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

30

以下、図面を参照して、本発明の典型的な実施形態を説明する。初めに、図1を参照して、本実施形態に係る細隙灯顕微鏡（以下、スリットランプと記す）の概略構成を説明する。

【0012】

本実施形態のスリットランプ100は、顔支持ユニット100aと、本体100bと、を有する。顔支持ユニット100aは、額当て11と、顎台12と、を有する。顔支持ユニット100aは、2本の支柱13を介してテーブル1に固定されている。

【0013】

本体100bは、固定部200aと、可動部200bと、を有する。固定部200aは、テーブル1の上に設置されている。また、固定部200aは、可動部200bを支持する。固定部200aには、ベース21、筐体21a、および、ジョイスティック22が設けられている。また、筐体21aの内部には、上下移動機構40を有する（図2参照）。

40

【0014】

ベース21は、テーブル1に固定されている。筐体21aは、ジョイスティック22の操作（より詳細には、水平方向へのスライド操作）に応じてベース21に対してスライド可能に設けられている。ジョイスティック22は、グリップ22aと、スイッチ22bと、を有する。本実施形態において、グリップ22aの回転操作に基づいて、上下移動機構40が駆動される。その結果として、筐体21aは、グリップ22aの操作量に応じて上下方向に移動される。スイッチ22bは、撮影（画像取得）のトリガ信号を入力するために使用される。

50

【0015】

可動部200bには、照明ユニット60、および顕微鏡ユニット（観察・撮影ユニット）70が設けられている。また、可動部200bは、ベースシャフト23、アーム24、およびアーム25を備える。本実施形態において、可動部200bは、筐体21aの上下移動によって、上下方向の位置を調節可能である。

【0016】

照明ユニット60は、被検者眼Eの観察部位を照明する。本実施形態の照明ユニット60は、後述の照明光学系60aを有する。

【0017】

顕微鏡ユニット70は、被検者眼Eの観察に使用される。顕微鏡ユニット70は、被検者眼Eの観察部位にて反射された反射像を検者眼F（図2参照）に導く。また、本実施形態の顕微鏡ユニット70は、被検者眼Eを撮影する。本実施形態の顕微鏡ユニット70は、後述の観察光学系70a、および撮影光学系80aを有する。

【0018】

また、ベースシャフト23は、ベース21に対して略鉛直に延びた軸部材である。ベースシャフト23には、アーム24、25が連結される。アーム24は、照明ユニット60を支持する。また、アーム25は、顕微鏡ユニット70を支持する。本実施形態において、アーム24およびアーム25は、ベースシャフト23の中心軸Bを中心として、個々に回転可能に支持される。故に、照明ユニット60および顕微鏡ユニット70は、中心軸Bを中心として個別に回転可能である。

【0019】

次に、図2を参照して、スリットランプ100の光学系について説明する。前述したように、スリットランプ100は、照明光学系60a、および観察光学系70aを備えている。また、本実施形態のスリットランプ100は、更に、撮影光学系80aを備えている。

【0020】

照明光学系60aは、スリット状に整形された照明光を被検者眼Eに投光するために使用される。本実施形態の照明光学系60aは、光源61（例えば、可視光源）、コンデンサレンズ62、可変アパーチャ63（以下、「アパーチャ63」と省略する）、可変スリット64（以下、「スリット64」と省略する）、コリメートレンズ65、結像レンズ66、および、プリズムミラー67を備える。光源61から出射された照明光は、コンデンサレンズ62を透過してアパーチャ63及びスリット64に照射される。照明光は、アパーチャ63及びスリット64によって、スリット状に整形される。なお、スリット状に整形された光束断面の高さ（即ち、光束断面の短辺の長さ）は、スリット64によって決定される。また、光束断面の幅（即ち、光束断面の長辺の長さ）は、アパーチャ63によって決定される。

【0021】

アパーチャ63及びスリット64を通過した光は、コリメートレンズ65によってコリメートされる。コリメートされた光は、結像レンズ66を透過して、プリズムミラー66で反射され、被検者眼Eに投光される。このとき、被検者眼Eは、コリメートレンズ65および結像レンズ66に関してスリット64と共役関係にあるので、照明光は、被検者眼Eにて、スリット状に整形された状態で結像する。つまり、被検者眼Eにて、スリット像が結像される。

【0022】

図2に示すように、本実施形態において、コリメートレンズ65、および結像レンズ66は、いずれも三枚のレンズを接合した（つまり、張り合わせた）トリプレットレンズである。本実施形態において、コリメートレンズ65および結像レンズ66には、等しい光学特性を持つトリプレットレンズTが使用される。より具体的には、トリプレットレンズTを形成する3枚のレンズの屈折率、レンズの厚み、および曲率半径の組み合わせが、コ

リメートレンズ 65 と結像レンズ 66 とで等しい。このように、照明光学系 60 a は、設計が簡単化されている。また、その結果として、スリット 64 からコリメートレンズ 65 までの光路長と、結像レンズ 66 から像面（つまり、被検者眼 E の観察部位）までの光路長とが等しくなる。なお、本実施形態において、コリメートレンズ 65 は、光軸 L1 に対するレンズの前後の向きが、結像レンズ 66 とは逆向きに配置されている。言い換えれば、コリメートレンズ 65 および結像レンズ 66 は、背中合わせで配置されている。その結果として、一部の収差が打ち消されている。

【0023】

コリメートレンズ 65、および結像レンズ 66 として使用されるトリプレットレンズ T についての更なる詳細構成については、図 3 を参照して後述する。

10

【0024】

次に、観察光学系 70 a について説明する。図 2 に示すように、観察光学系 70 a は、対物レンズ 71、変倍光学系 72、ハーフミラー 73、結像レンズ 74、正立プリズム 75、視野絞り 76、および、接眼レンズ 77 を持つ。被検者眼 E の観察部位で反射された照明光（つまり、スリット像）は、対物レンズ 71、および変倍光学系 72 を透過し、ハーフミラー 73 へ照射される。ハーフミラー 73 は、照明光の一部を透過し、他の一部を撮影光学系 80 a へ反射させる。ハーフミラー 73 を透過した光は、結像レンズ 74 を経て、正立プリズム 75 で反射される。プリズム 75 で反射された光は、視野絞り 76、接眼レンズ 77 を透過して、検者眼 F に入射する。その結果として、検者は、被検者眼 E の観察部位をスリット像にて観察できる。

20

【0025】

撮影光学系 80 a は、照明光学系 60 a からの照明光によって照明される被検者眼 E を撮影するために用いられる。撮影光学系 80 a は、被検者眼 E で反射された照明光を受光する撮像素子 82 を少なくとも有する。撮像素子 82 には、例えば、可視光に感度を持つ CCD が使用されてもよい。また、本実施形態の撮影光学系 80 a は、リレーレンズ 81 を有する。リレーレンズ 81 は、ハーフミラー 73 で反射された照明光を、撮像素子 82 へ中継する。その結果、撮像素子 82 には、被検者眼 E で反射されることによって、被検者眼 E の組織が示されるスリット像が投影される。その結果、スリット像が投光された範囲の被検者眼 E の組織が、撮像素子 82 によって撮影される。ここで、撮影に関する制御は、主に制御部 85 によって行われる。

30

【0026】

制御部 85 は装置全体を制御するプロセッサ（例えば、CPU）である。制御部 85 には上述のグリップ 22 a、スイッチ 22 b、上下駆動機構 40、メモリ 86、モニタ 87、等が接続される。制御部 85 は、スイッチ 22 b からの信号が入力された場合に、撮像素子 82 から出力される撮像信号（撮影画像データ）を処理して、被検者眼 E の撮影画像を取得する。制御部 85 は、取得した撮影画像を、メモリ 86 に記憶する。また、撮影画像は、制御部 85 によって、モニタ 87 に表示される。

【0027】

次に、本実施形態のスリットランプ 1 の特徴部分を詳細に説明する。

【0028】

本発明者は、スリットランプの照明光学系をコンパクト化するために、光学系全長が短い照明光学系を検討した。しかし、光学系全長を短くするためには、スリットとコリメータレンズとの間隔、および結像レンズと被検眼 E との間隔を狭める必要がある。その結果、コリメータレンズおよび結像レンズの開口数（NA）が大きくなってしまう。

40

【0029】

ここで、レンズによって発生する収差には、開口数に応じて増加しやすいものがある。例えば、像への影響が大きい収差の典型例であるザイデルの五収差（つまり、球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲、および歪曲収差の 5 種類の収差）では、球面収差が開口数の 3 乗に比例し、コマ収差が開口数の 2 乗に比例し、非点収差および像面湾曲が、開口数の 1 乗にそれぞれ比例する。よって、照明光学系の光路長を短くすることによって、照

50

明光学系によって被検眼に投影されるスリット像が、収差の影響を受けやすくなってしまう。つまり、スリット像の境界が不鮮明になりやすくなる。

【0030】

スリットランプでは、スリット像の境界が不鮮明であると、被検眼の観察・診断が難しくなる場合がある。例えば、被検者眼Eの透光体（例えば、角膜、水晶体、硝子体等）が観察または撮影される場合において、スリット像の境界が不明確であると、観察範囲（又は撮影範囲）において、混濁、および透光体表面の傷、隆起等（以下、「混濁等」と省略する）が含まれているか否かを検者が正確に把握しづらい。

【0031】

これに対して、本実施形態のスリットランプ100は、スリット64から被検者眼Eまでの間に配置されるコリメートレンズ65、および結像レンズ66のそれぞれを、三枚のレンズを接合したトリプレットレンズとした。

【0032】

ここで、図3を参照して、コリメートレンズ65、および結像レンズ66として使用されるトリプレットレンズTの詳細構成を説明する。トリプレットレンズTは、第1レンズT1、第2レンズT2、第3レンズT3の三枚が接合されている。

【0033】

図3において、 n_1 、 n_2 、 n_3 は、レンズT1、T2、T3の屈折力をそれぞれ示す。 d_1 、 d_2 、 d_3 は、レンズT1、T2、T3の厚さをそれぞれ示す。 r_1 は、レンズT1の前面（物体側面）の曲率半径であり、 r_2 は、レンズT1の後面（像側側面）およびレンズT2の前面の曲率半径であり、 r_3 は、レンズT2の後面およびレンズT3の前面の曲率半径であり、 r_4 は、レンズT3の後面の曲率半径である。また、 L_1 は、トリプレットレンズT全体の後面（つまり、レンズT3の後面）から像平面までの距離である。

【0034】

ここで、レンズの近軸光線に関する5種類のザイデル収差は、2本の近軸光線（物体近軸光線、瞳近軸光線）を計算し、特定の R 、 ϕ 、 $\tan \omega$ に対応する光線の横収差をべき級数に展開するときの3次の項の係数としてそれぞれ得られる。但し、 R 、 ϕ は光線が物体側主平面を切る点の極座標（ R 、 ϕ ）であり、半画角 ω は物体側主平面の中心から物点高さを見込んだ角度である。

【0035】

トリプレットレンズTにおいては、ザイデル収差を示す係数は、上記11個のパラメータ（つまり、 $n_1 \sim n_3$ 、 $d_1 \sim d_3$ 、 $r_1 \sim r_4$ 、 L_1 ）と、スリット-レンズ間距離、レンズ-レンズ間距離、絞り位置から計算できる。ここで、スリット-レンズ間距離、レンズ-レンズ間距離、絞り位置は、光学系の形状（例えば、光学系全長）によってある程度決まってしまう。よって、光学系の設計において収差補正に使用できるパラメータは、上記の11個である。

【0036】

一方、ダブルットレンズDを使ってトリプレットレンズTの場合と同じ光学系を設計しようとする、収差補正に使用できるパラメータは、8個（ n_4 、 n_5 、 d_4 、 d_5 、 $r_5 \sim r_7$ 、 L_2 ）となる（図4参照）。ここで、 n_4 、 n_5 は、2枚のレンズD1、D2の屈折率である。 d_4 、 d_5 は、2枚のレンズD1、D2の厚さである。 r_5 、 r_6 、 r_7 は、レンズD1、D2の各面（前面および後面）の曲率半径である。 L_2 は、像側のレンズ面から像平面までの距離である。

【0037】

トリプレットレンズT、およびダブルットレンズDにおいて、上記例示したパラメータは、いずれも、ソフトウェアを用いた光線追跡のシミュレーション等によって当業者が適宜選定可能である。上記の通り、トリプレットレンズTにおいて、波面収差（例えば、各種のザイデル収差等）に対する収差補正能力は、ダブルットレンズDと比べて多くの調節可能なパラメータを用いて定められる。トリプレットレンズTは、ダブルットレンズDと

10

20

30

40

50

比べて調節可能なパラメータが多いため、ダブルットレンズDでは補正困難な範囲において、各種の収差をバランスよく抑制可能である。

【0038】

ここで、図5～図7にて、トリプレットレンズTを使用した照明光学系と、ダブルットレンズDを使用した照明光学系との光線追跡法を用いたソフトウェアシミュレーションの結果を示す。

【0039】

図5に示す表には、照明光学系600、800についてのスリット-コリメータレンズ間距離と、ザイデル収差の収差係数（つまり、スリットから出射した光がコリメートレンズおよび結像レンズによって集光される像面における収差係数）とを示している。照明光学系600（図6（a）参照）は、照明光学系60aの一実施例である。照明光学系600は、スリットとコリメータレンズとの間の距離が95.00mm以下である（より詳細には、92.00mmである）。なお、前述したように、コリメートレンズおよび結像レンズには、光学パラメータが同じレンズが使用される。また、コリメートレンズおよび結像レンズに関してスリットと像面とは共役なので、結像レンズと、像面との間の距離も92.00mmである。

【0040】

一方、照明光学系800（図6（b）参照）は、比較例であって、図6（b）に示すように、コリメートレンズおよび結像レンズにダブルットレンズが使用される。照明光学系800は、スリットとコリメータレンズとの間の距離を、照明光学系600に対して長い117.05mmとしている。照明光学系800において、結像レンズとコリメータレンズとは、同じ設計値のレンズが使用される。また、コリメートレンズおよび結像レンズに関してスリットと像面とは共役であるため、各々の光学系において、結像レンズと像面との間の距離は各々のスリットから像面までの距離に等しい。

【0041】

図5に示すように、照明光学系600は、照明光学系800と比べて、一部の収差に関する収差係数が、より0に近くなっている（つまり、絶対値が小さくなっている）。例えば、タンジェンシャル非点収差の絶対値は、0.040以下であり、サジタル非点収差の絶対値は、0.019以下である。また、歪曲収差の絶対値は、0.030以下である。照明光学系600において、タンジェンシャル非点収差の収差係数は、サジタル非点収差の収差係数の2倍以内となっている。また、歪曲収差の収差係数は、ペッツ・バール和の $1/3$ 以下となっている。なお、ペッツ・バール和およびペッツ・バール曲率和は、いずれも像面湾曲に関する数値である。

【0042】

その結果として、図7のスポットダイアグラムにて示すように、像面における各像高での像の結像性能（つまり、集光度合）が、照明光学系600では、照明光学系800に対して改善される。従って、コリメートレンズおよび結像レンズにトリプレットレンズが採用される本実施形態の装置によれば、良好な観察性能と装置の小型化を実現することが可能となる。

【0043】

本実施形態のスリットランプ100は、アパーチャ63およびスリット64によってスリット状に整形された照明光を被検者眼Eの部位に結像させるために、トリプレットレンズT（より詳細には、コリメートレンズ65、および結像レンズ66）が使用される。このため、スリットランプ100において、トリプレットレンズT3は、被検者眼Eの部位に投影される照明光の収差を決める要素であ、効果的な収差補正によって、照明光によって被検者眼Eの部位に形成されるスリット像が、シャープに形成されやすくなる。そのため、スリット像の範囲に存在する混濁等の有無が明確に表されやすくなる。その結果、被検者眼Eの観察および診断等が良好に行われやすくなる。

【0044】

また、本実施形態では、他の光学部材から離して配置されるレンズの枚数を増やすので

10

20

30

40

50

はなく、複数枚のレンズが接合されたトリプレットレンズTを用いることによって（より詳細には、スリット64を経た照明光をコリメートレンズ65、および結像レンズ66のみで集光することによって）、収差が抑制される。このため、スリットランプ100では、照明光学系60aの全長の増大を回避しながら収差を良好に補正することが期待できる。

【0045】

以上、実施形態に基づいて発明を説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、様々に変形することができる。

【0046】

例えば、上記実施形態では、照明光学系60aにトリプレットレンズT2枚配置する場合について説明したが、必ずしもこれに限定されるものではない。照明光学系60aには、一つ以上のトリプレットレンズTが配置されていればよい。

【符号の説明】

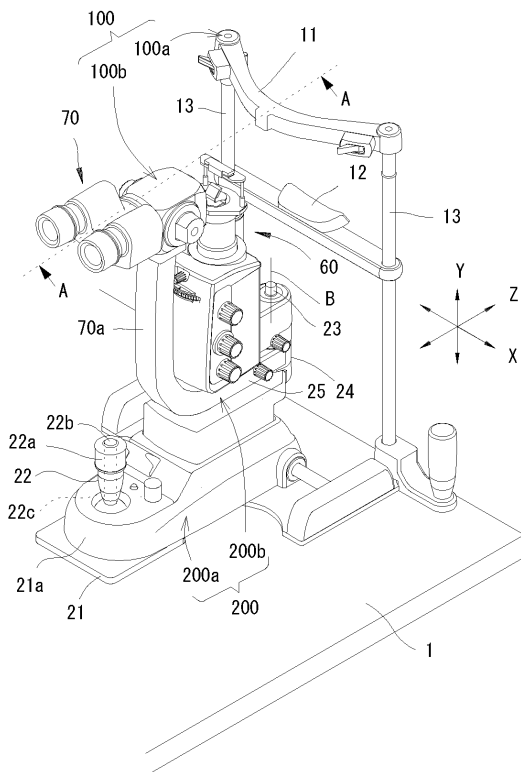
【0047】

- 60a 照明光学系
- 70a 観察光学系
- 65 コリメートレンズ
- 66 結像レンズ
- 100 スリットランプ
- T トリプレットレンズ

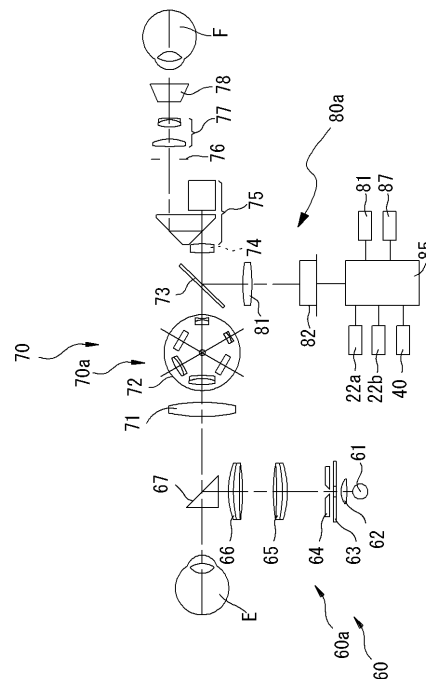
10

20

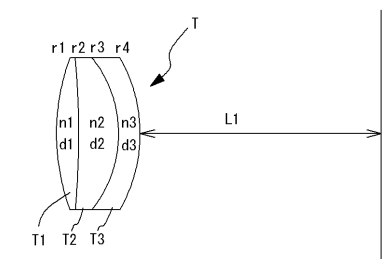
【図1】



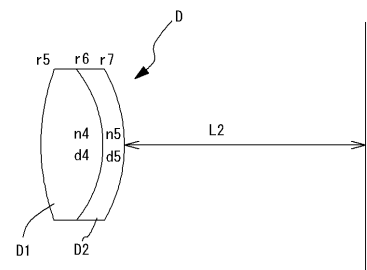
【図2】



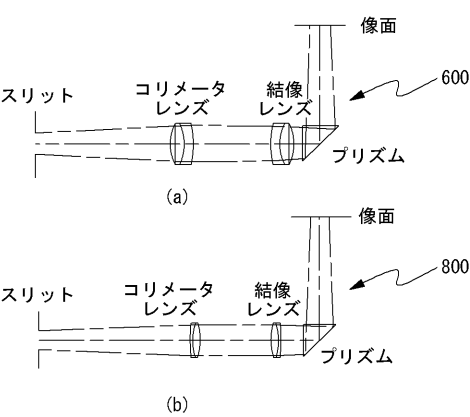
【図 3】



【図 4】



【図 6】



【図 5】

	実施例 (照明光学系600)	比較例1 (照明光学系800)
スリット -コリメータレンズ 間距離(mm)	92.00	117.05
球面収差	-0.000604	-0.000311
タンジェンシャル コマ収差	-0.001010	-0.000346
タンジェンシャル 非点収差	-0.022322	-0.041758
サジタル 非点収差	-0.015322	-0.019428
ベッツパール和	-0.011823	-0.008262
ディストーション (歪曲収差)	-0.020633	-0.037546
軸上色収差	-0.003789	-0.004038
倍率色収差	0.000636	-0.000005
ベッツパール曲率和	-0.014759	-0.011669

【図 7】

